

Дискуссии

УДК 551.214

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИИ И ИСТОРИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА ВУЛКАНОЛОГОВ В БЕРИНГОВОМ МОРЕ (НОВАЯ ВЕРСИЯ)

© 2014 И.В. Мелекесцев

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Предложен новый вариант геолого-геоморфологического строения и истории формирования массива Вулканологов (МВ), расположенного в Командорской котловине Берингова моря. Основой для него послужили батиметрическая карта, созданная в 2009 г. по результатам многолучевого эхолотирования с борта экспедиционного судна «Зонне», и частично ревизованные материалы более ранних геолого-геофизических исследований этого района. Показано, что МВ перед началом формирования вулкана Пийпа был кардинально преобразован и разрушен катастрофическими магмо-тектоническими и обвальными-взрывными процессами. Определены параметры МВ, активного вулкана Пийпа и открытого автором магматического суперпотока, оценен их возраст.

Ключевые слова: массив Вулканологов, вулкан Пийпа, магматический суперпоток, катастрофические процессы.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с созданием и развитием на геопортале Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН информационной системы по наземным и подводным вулканам Камчатки, Курильских островов и прилегающих акваторий (Информационная..., 2010; Романова и др., 2012а, 2012б) ее авторам приходится заниматься ревизией существующих материалов, а также пополнением данных о таких вулканах. Это относится не только к вулканам, материалы по которым давно не обновлялись и устарели, но и к вулканам, особенности строения, динамику формирования и историю эруптивности которых можно осветить по-другому, заново проанализировав уже накопленные данные, с привлечением результатов более поздних исследований.

Очередным таким объектом стал массив Вулканологов (МВ) с приуроченным к нему активным вулканом Пийпа (рис. 1). Он был открыт в 21-ом рейсе (1984 г.) НИС «Вулканолог» в южной части Командорской котловины Берингова моря (Селиверстов и др., 1986). Затем исследования массива Вулканологов и вулкана Пийпа продолжались с перерывами до 2009 г., когда для этого, в частности, было задействовано

(Dullo et al., 2009; Portnyagin et al., 2011) германское научно-исследовательское судно (НИС) «Зонне» («Sonne»).

По результатам многолетних исследований обоих объектов в СССР, РФ и за рубежом опубликовано более 30 научных работ (Богданова и др., 1989; Волинец и др., 1992; Селиверстов и др., 1986; Taran et al., 1992 и др.), включая капитальные монографии Н.И. Селиверстова (Селиверстов, 1998, 2009), в которых были суммированы в сжатом виде и проанализированы все основные материалы по геоморфологии и геологии массива Вулканологов и активного вулкана Пийпа по состоянию на 2007 г., представлены их детальные батиметрические карты, морфоструктурные схемы на район массива Вулканологов и грабена Командор, а также привершинную часть вулкана Пийпа (рис. 1). Н.И. Селиверстов и его коллеги создали и обосновали первую детальную версию об их структурной приуроченности, особенностях строения и главных этапах развития, включая описания изверженных пород, состояния и активности вулкана Пийпа в современную эпоху (Волинец и др., 1992; Селиверстов, 2009; Селиверстов и др., 1986 и др.).

Однако при анализе этой версии появились вопросы, на которые там не было однозначного

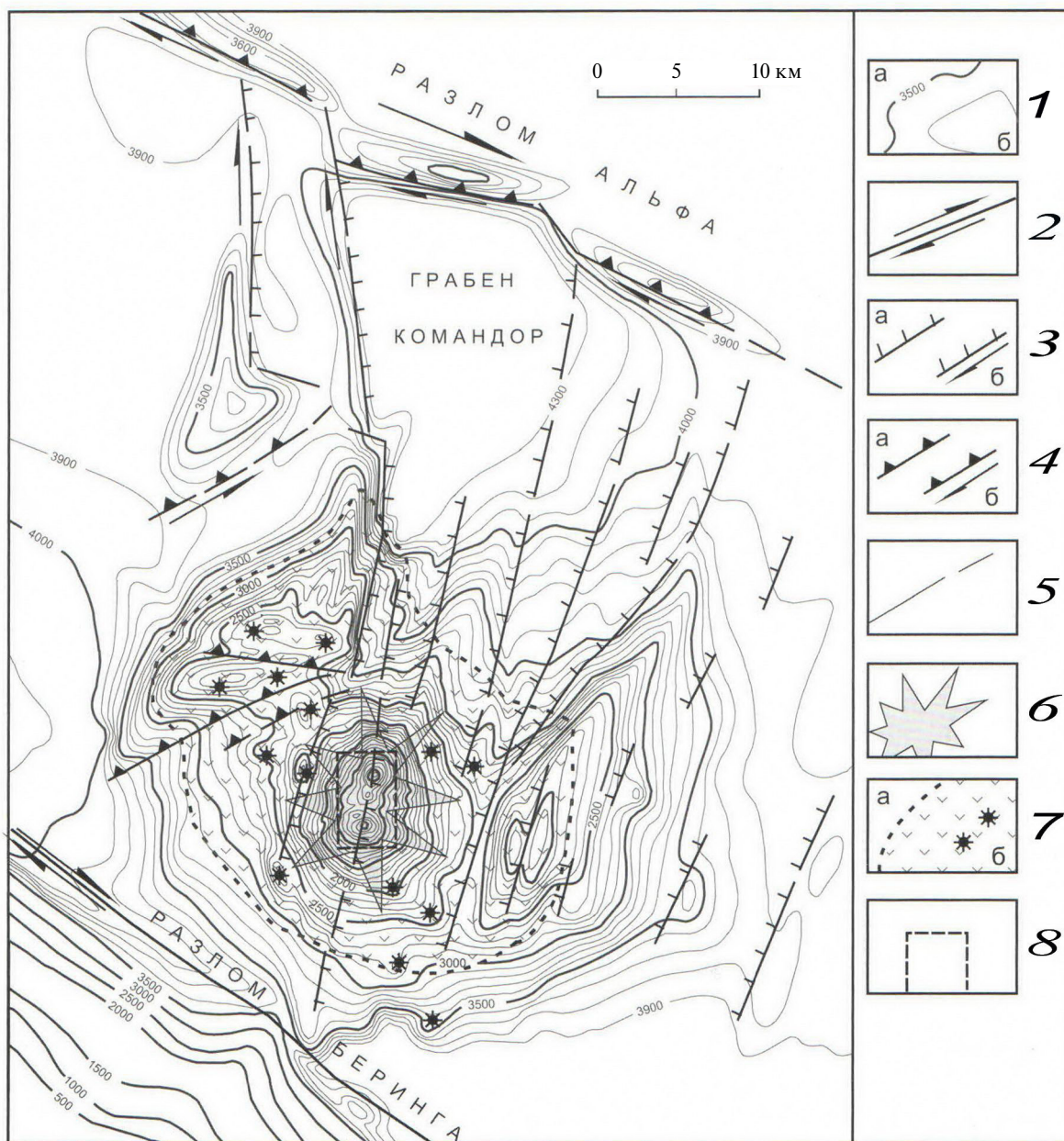


Рис. 1. Морфоструктурная схема на район массива Вулканологов и грабена Командор (Селиверстов, 2009): 1 – изобаты (м): основные (а) и дополнительные (б); 2–5 – разрывные нарушения: 2 – сдвиги, 3 – сбросы (а) и сбросо-сдвиги (б); 4 – взбросо-сдвиги (б); 5 – неклассифицированные; 6 – подводный вулкан Пийпа; 7 – граница массива Вулканологов (а) и крупные положительные формы его мезорельефа (б); 8 – граница вершинной части вулкана Пийпа.

ответа. Так, осталось неясным, почему массив Вулканологов оказался структурой, созданной преимущественно «новейшими тектоническими движениями при подчиненном участии вулканизма» (Селиверстов, 2009, с. 75). Непонятно, где проходит граница грабена Командор, каково его соотношение с массивом Вулканологов, на каком основании проведена граница подножия массива Вулканологов по изобате – 3000 м, уменьшившая его размер с 35 км (Селиверстов и др., 1986) до 25 км.

Поэтому возникла необходимость в появлении новой версии решения рассматриваемой

проблемы, основанной как на материалах, использованных Н.И. Селиверстовым, так и более поздних, которые были опубликованы в последние годы (Dullo et al., 2009; Ponomareva et al., 2013; Portnyagin et al., 2011; Riethdorf et al., 2009 и др.). Материалы этих публикаций позволили во многом по-иному оценить и результаты предшествующих исследований по геологии и геоморфологии самого массива Вулканологов и сопредельных участков морского дна, а также стратиграфию донных осадков, содержащих горизонты вулканических пеплов.

Для большей объективности, в представленной статье будут рассмотрены обе версии. Первая, естественно, в более кратком варианте, чем у Н.И. Селиверстова, но с комментариями автора этой статьи.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ МАССИВА ВУЛКАНОЛОГОВ (версия Н.И. Селиверстова)

Первые конкретные сведения о массиве Вулканологов и вулкане Пийпа опубликованы в (Селиверстов и др., 1986). Там приведены данные о структурной приуроченности массива (насажен на отчетливо выраженное в рельефе поднятие акустического фундамента), его некоторых параметрах (поперечник основания порядка 35 км, по изобате – 3500 м, объем – около 1100 км³, глубина над вершинами вулкана Пийпа – первые сотни метров), возрасте (вероятно, менее 700 тыс. лет, так как постройка массива прямо намагничена). На морфоструктурной схеме района работ (Селиверстов и др., 1986) изображен сам массив Вулканологов с вулканом Пийпа в вершинной части и с 19 приуроченными к его постройке мелкими положительными формами рельефа с относительной высотой от первых десятков до нескольких сот метров.

Драгированные (интервалы глубин – 750–400 м) с центральных конусов вулкана Пийпа ювенильные породы были представлены двумя разностями – угловатыми глыбами и щебнем светло-серых пемз дацитового состава, серых и светло-серых массивных дацитовых лав. Описан их минеральный и химический (три анализа) состав.

Однако наибольшее внимание в цитированной работе было уделено результатам геофизических исследований: данным непрерывного сейсмоакустического профилирования и модульной гидромагнитной съемки.

При интерпретации полученного материала возникли, на наш взгляд, значительные трудности, которые не удалось преодолеть. Так, осталось неясным, почему расположенный в задуговой зоне Алеутской островной дуги массив Вулканологов приурочен к поднятию акустического фундамента с амплитудой до 2 км сразу к ЮВ от массива, а само поднятие отделено от Командорского блока дуги глубокой депрессией. Непонятно также, почему драгированные породы оказались низкокальциевыми. Однозначно не доказано и островодужное происхождение проанализированных образцов пород.

Во время 26-го рейса НИС «Вулканолог» (август–сентябрь 1986 г.) был открыт грабен Командор, предположительно датированный верхнечетвертичным временем (Селиверстов и др., 1988).

По результатам проведенных исследований, история развития массива Вулканологов была разделена на два этапа. В течение первого этапа произошло формирование его главной постройки, а второй характеризовался деятельностью эруптивных центров вулкана Пийпа, возникновением и ростом мелких вулканических форм рельефа. Временные рамки обоих этапов не установлены.

В ходе последующих геолого-геоморфологических и геофизических работ в Командорской глубоководной котловине и в окрестностях массива Вулканологов представления о его геологии, изверженном веществе, геоморфологии и истории развития, об активности вулкана Пийпа были существенно дополнены (Богданова и др., 1989; Муравьев и др., 1990; Селиверстов и др., 1989). Особенно ценными оказались материалы, полученные летом 1990 г. с помощью глубоководного обитаемого аппарата (ГОА) «Мир» (Волынец и др., 1992; Сагалевич и др., 1992; Yagodinski et al., 1994). Проведенные В.Ю. Кирьяновым анализы вулканических пеплов из колонок донных осадков в окрестностях массива Вулканологов показали, что эксплозивные извержения вулкана Пийпа, возможно, происходили всего лишь несколько сот лет назад (Селиверстов и др., 1989), а это вполне согласуется с обнаружением на его северной вершине современной гидротермальной деятельности (Сагалевич и др., 1992; Торохов, 1992а, 1992б; Торохов и др., 1991; Taran et al., 1992). Погружение ГОА по склону массива дало возможность отобрать образцы пород в интервале глубин от 4243 до 3488 м. Породы с глубин 4243 м (титанистый базальт из обломка подушечной лавы с тонкой Fe–Mn пленкой), 4024 и 4000 м (глиноземистый базальт) и 3648 м (магнезиальный андезит) отнесены к фундаменту массива, а с глубины 3488 м (андезит) – к лавам вулкана Пийпа (Волынец и др., 1992; Селиверстов, 2009).

Остальные – к самому вулканическому массиву (глиноземистые базальты и умеренномагнезиальные андезиты) и лавам вулкана Пийпа. Породы массива Вулканологов и вулкана Пийпа были подняты при драгировании во время 35-го рейса НИС «Вулканолог» в 1989 г. с глубин 400–1840 м (Волынец и др., 1992).

По результатам эхолотных промеров были составлены (Селиверстов и др., 2009) батиметрические карты массива Вулканологов и вулкана Пийпа, более детальные и качественные, чем опубликованные ранее (Селиверстов и др., 1986), а на их основе – новая морфоструктурная схема на район массива Вулканологов и грабена Командор.

В настоящее время самая свежая публикация, в которой наиболее полно изложены представления о массиве Вулканологов и активном

вулкане Пийпа – капитальная монография Н.И. Селиверстова (Селиверстов, 2009), где этой проблеме посвящен специальный раздел «Основные черты геологического строения подводного вулкана Пийпа и его обрамления». Там же сформулированы и основные выводы по этим объектам.

Вывод первый, весьма сложный по построению и для понимания, характеризует структурное положение, происхождение, геологическое строение и геоморфологические особенности массива Вулканологов и грабена Командор. Вначале утверждается, что «вулcano-тектоническая структура» (непонятного типа, И.М.), «включающая массив Вулканологов (положительная морфоструктура, И.М.) «и грабен Командор» (отрицательная морфоструктура, И.М.), «сформирована, в основном, новейшими тектоническими движениями при подчиненном значении вулканизма» (Селиверстов, 2009, с. 75). Ниже указывается, что «Вулканический массив – массив Вулканологов – приурочен к южной части грабена», а «его граница определена по выходам к поверхности дна пород акустического фундамента, лишенных покрова современных осадков различной мощности» (Селиверстов, 2009, с. 75). Подобный критерий для выделения границ здесь лишен смысла, так как речь идет о крутых склонах молодой вулканической постройки, где осадки обычно не накапливаются. И далее: «Вулканический массив» ... «имеет весьма сложное, гетерогенное строение» (Селиверстов, 2009, с. 75), так как сложен не только вулканическими породами разного состава, но и литифицированными (?) осадками, выведенными на поверхность дна тектоническими движениями. В последнем случае имеются в виду драгированные на одной из возвышенностей обломки алевролитов и вулканических пород в алевролитовой обматке. Доказательства того, что эти обломки подняты вверх именно тектоническими движениями, не приводятся.

Границы грабена Командор не показаны, а название грабена в (Селиверстов, 2009, рис. 1.35) пришлось на слабо вогнутое дно грабена с максимальными глубинами. Куда грабен продолжается на юг, непонятно.

Практически никакого объяснения Н.И. Селиверстов и его коллеги ни в одной из работ не дали по поводу необычной для тыловых зон островных дуг приуроченности массива Вулканологов к выделенному им поднятию акустического фундамента. Ничего подобного ни в Курильской (Авдейко и др., 1992), ни в Алеутской (Эрлих, Мелекесцев, 1974; Wood, Kienle, 1990) островных дугах не отмечалось.

Все, что относится к описанию поднятых пород с массива Вулканологов и подводного вул-

кана Пийпа, возражений не вызывает, поскольку выполнено на очень высоком профессиональном уровне.

Второй комплексный вывод относится к происхождению и оценке возраста поднятых пород. Здесь, как справедливо резюмирует Н.И. Селиверстов (2009), вопросов гораздо больше, чем ответов. Однозначно доказано лишь то, что обломок оливиновых титанистых базальтов, поднятый во время рейса ГОА «Мир» с глубины 4293 м у подножия западного уступа грабена Командор, не является островодужным, а относится к толеитовым субщелочным базальтам. Как он туда попал, непонятно. Остальные поднятые породы, от глиноземистых базальтов до молодых дацитов вулкана Пийпа, считаются островодужными с большой долей условности, так как имеют не только островодужные признаки.

Датирование пород нижнего комплекса верхним олигоценом – нижним миоценом, а глиноземистых базальтов – верхним миоценом – плиоценом, также проблематично. Непонятен и верхнеплиоцен – четвертичный возрастной диапазон пород верхнего комплекса, поскольку постройка, как постоянно отмечалось (Селиверстов, 1998, 2009), имеет прямую намагниченность, свойственную палеомагнитной эпохе Брюнес, нижняя возрастная граница – по международной хронологической шкале 2000 г. – 781 тыс лет.

Описания и выводы по современной постройке вулкана Пийпа никаких возражений не вызывают, так как они очень грамотно выполнены на основе добротного фактического материала.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ МАССИВА ВУЛКАНОЛОГОВ (новая версия, автора статьи)

Для создания новой версии об особенностях строения и развития массива Вулканологов потребовалось, прежде всего, и составление новой схемы его геолого-геоморфологического строения, поскольку ранее опубликованные (Селиверстов, 2009, Селиверстов и др., 1986) автора настоящей статьи по разным причинам не удовлетворяли. Оттуда были заимствованы лишь некоторые элементы научной нагрузки и батиметрия с местоположением точек, откуда отбирались проанализированные образцы пород. В большей степени была использована крупномасштабная (~ 1:38000) морфоструктурная схема привершинной части подводного вулкана Пийпа (Селиверстов, 2009).

Основой для новой схемы (рис. 2) послужили батиметрические карты из работ (Dullo

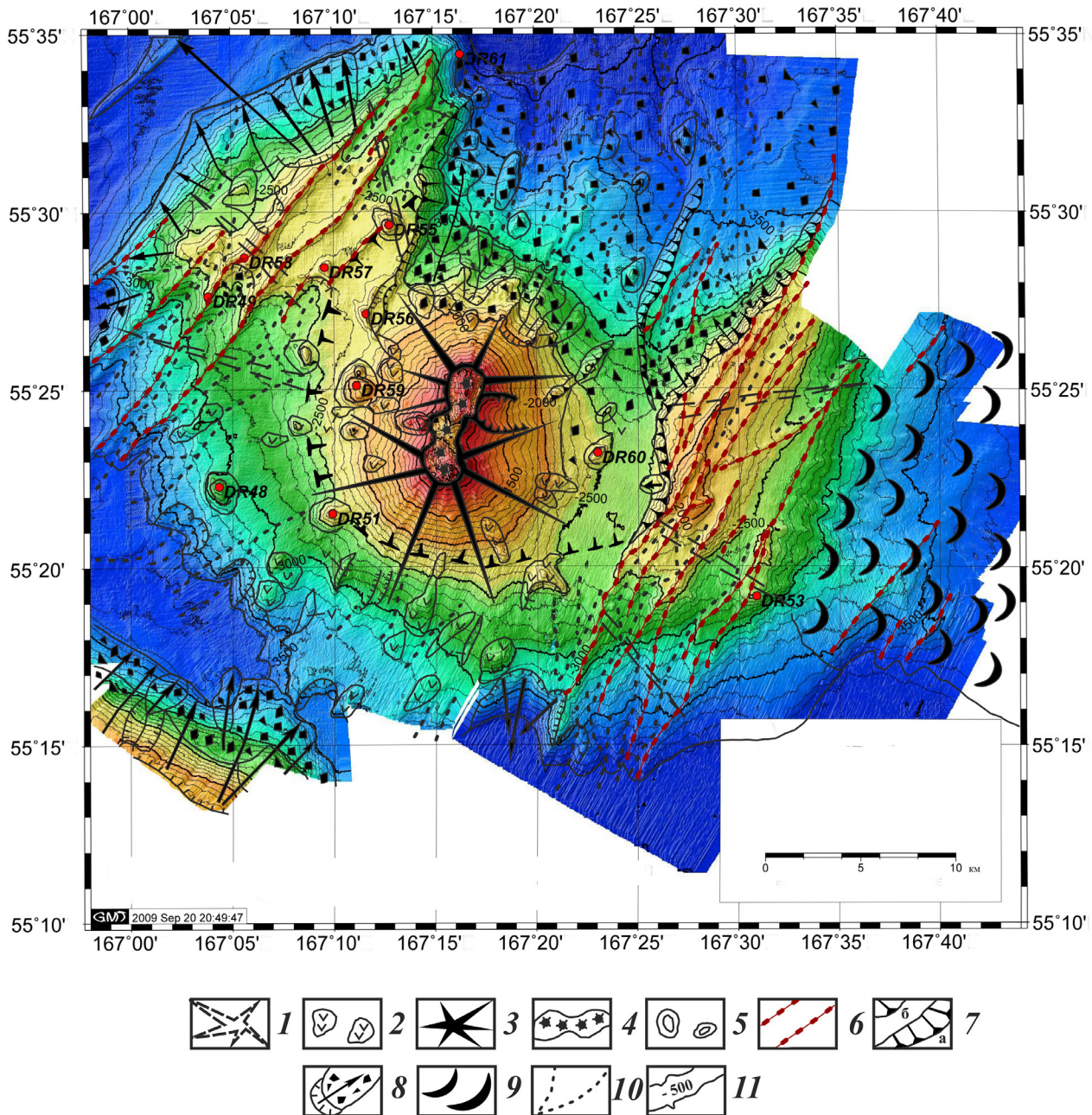


Рис. 2. Геолого-геоморфологическое строение массива Вулканоологов и подводного вулкана Пийпа. Батиметрия по данным (Селиверстов, 2009; Dullo et al., 2009; Portnyagin et al., 2011): 1 – выраженные в рельефе фрагменты МВ; 2 – фрагменты (разнообразные по форме и размерам возвышенности) разрушенной и погребенной частей МВ; 3 – конус в. Пийпа; 4 – сложно построенная вершинная часть подводного вулкана Пийпа (по изобате 1000 м), профиль на рис. 3 настоящей статьи; 5 – предполагаемые экструзивные куполы; 6 – выраженные в рельефе крупнейшие разрывные нарушения; 7 – стенки гигантских обвально-взрывных форм (а – выраженные в рельефе, б – погребенные); 8 – обвально-оползневые формы на МВ и сопредельных участках, стрелки показывают направление движения перемещенного материала; 9 – исток магматического суперпотока Пийпа; 10 – русла подводных микроканьонов; 11 – изобаты (проведены через 500 м). DR60 – станции драгирования НИС «Зонне» и их номера.

et al., 2009; Portnyagin et al., 2011), полученные в 2009 г. при многолучевом эхолотировании массива Вулканоологов с борта германского НИС «Зонне». На этих картах хорошо видно, что в настоящее время массив Вулканоологов имеет весьма сложное геолого-геоморфологическое строение – результат интенсивного комплексного

преобразования в последующие эпохи (за счет вулканизма, вулканотектоники, магмотектоники, сеймотектоники и др.) его первичной морфоструктуры.

По данным проведенной реконструкции автору удалось выяснить, что первоначально массив Вулканоологов был, предположительно, круп-

ным вулканом с размерами основания 40×45 км и относительной высотой постройки более 2000 м. По своим параметрам он соответствовал крупнейшим наземным вулканическим образованиям Камчатки. Так, сходный (диаметр основания около 50 км) размер и морфологию имеет щитообразный вулкан Большая Ипелька на юге Камчатки.

Сейчас основание постройки МВ находится на глубине 3800–3700 м. Измеренная с ГОА «Мир» глубина подошвы массива была равна 3700 м, а взятый с отметки ~ 3648 м образец оказался магнезиальным андезитом (Волынец и др., 1992).

Нижняя часть первичной морфоструктуры МВ относительно хорошо сохранилась, верхняя – кардинально преобразована. Измеренные на построенных автором поперечных профилях углы наклонов склонов нижней половины массива равны: в интервале от -3500 до -3000 м – 5–6°, от -3000 до -2500 м – 6–8°, от -2500 до -2000 м – 8–10°. Выше изобаты -2000 м первичная постройка массива была полностью разрушена. Основание массива и примыкающие к нему снизу участки морского дна в интервале от -3500 до -4000 м перекрыты мощной толщей рыхлых и слабо уплотненных осадков (возможно, пирокластики вулкана Пийпа), о чем свидетельствует широкое развитие здесь подводного рельефа типа бедленд, выработанного мутьевыми потоками.

Прямых данных об абсолютной высоте первичного массива Вулканологов и о том, поднимался ли он над уровнем моря, нет. Однако высокая концентрация галек на склоне массива в драгированном материале (Селиверстов, 2009) позволяет утверждать, что его вершина находи-

лась в зоне интенсивной морской абразии. Это мог быть небольшой остров или мель.

Следовательно, высота постройки первичного массива Вулканологов достигала, как минимум, 3700–3800 м. По оценке автора статьи, ее объем был равен, примерно, 1300–1400 км³. Это соизмеримо с объемом самых крупных большеобъемных на Камчатке вулканических построек – массивов Шивелуч (~ 1000 км³) и Плоских сопков (1200 км³). Породы массива Вулканологов – умеренномагнезиальные андезиты, глиноземистые андезибазальты и магнезиальные андезиты (таблица).

Из наземных вулканов, сложенных преимущественно лавами, первичное вулканическое образование массива Вулканологов по большинству своих параметров было, по-видимому, идентично знаменитому вулкану Этна.

Фундамент постройки массива Вулканологов на глубине 3700 м, исследованный с борта ГОА «Мир», образован пачкой алевролитов с видимой мощностью около 100 м (Волынец и др., 1992). Однако истинная мощность этой пачки, вероятно, достигает примерно 300 м, так как ее подошва – кровля глиноземистых базальтов на глубине 4000 м, перекрытая алевропелитами (алевролитами) основания пачки. Предполагаемый возраст обломков алевролитов, по данным диатомового анализа, выполненного Е.Г. Лупкиной и Л.М. Долматовой – поздний миоцен – ранний плиоцен (Волынец и др., 1992).

Вопрос о точном времени начала формирования постройки массива Вулканологов пока не решен. Предполагается только (и автором статьи тоже), основываясь на том, что вся ее постройка прямо намагничена (Селиверстов и др., 1986), что

Представительные химические анализы изверженных пород массива Вулканологов, магматического суперпотока (МСП) и вулкана Пийпа (мас. % в пересчете на безводный остаток) по (Волынец и др., 1992) в интерпретации автора статьи)

Компоненты, мас. %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	55.02	57.93	58.04	58.66	59.64	52.03	52.06	60.27	61.75	68.27
TiO ₂	1.05	0.67	0.64	0.75	0.68	0.98	1.00	0.53	0.68	0.35
Al ₂ O ₃	17.46	18.71	17.37	18.40	17.84	19.18	19.09	18.02	17.70	15.98
Fe ₂ O ₃	2.89	1.68	1.28	1.03	2.39	1.69	1.65	1.05	0.90	1.05
FeO	4.32	3.32	4.12	4.08	3.03	4.58	4.69	3.40	3.12	2.22
MnO	0.11	0.08	0.11	0.08	0.08	0.14	0.14	0.12	0.08	0.11
MgO	4.91	4.50	5.88	3.95	3.55	5.32	5.77	4.12	3.14	1.56
CaO	9.02	7.40	7.36	7.37	6.67	11.35	10.89	6.53	7.20	3.28
Na ₂ O	4.02	4.16	3.67	4.17	4.44	3.66	3.65	4.25	4.16	5.22
K ₂ O	1.07	1.44	1.38	1.39	1.55	0.84	0.84	1.52	1.08	1.84
P ₂ O ₅	0.13	0.11	0.15	0.12	0.13	0.22	0.22	0.20	0.18	0.12
сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.01	99.99	100.00

Примечание. 1–5 – массив Вулканологов (1 – В35-10/5, 2 – В35-8/1, 3 – 2316/4, 4 – В35 – 8, 5 – В35-7/2); 6, 7 – магматический суперпоток (6 – 2316/1, 7 – 2316/2); 8–10 – вулкан Пийпа (8 – 2316/4, 9 – В35-4/2, 10 – В35-4/2). Химическая лаборатория Института вулканологии ДВО АН СССР. Аналитики А.М. Округина, Г.В. Лец, Г.П. Новоселецкая.

это произошло не ранее палеомагнитной эпохи Брунес, то есть 781 тыс. лет назад. Несколько более уверенно можно судить о том, когда вершина массива Вулканологов оказалась на небольшой глубине или даже выше уровня моря. Критерием для такой оценки послужили материалы глубоководного бурения, скв. 189 (Initial..., 1973), расположенной в 240 км к ЮВ от предполагаемой вершины массива Вулканологов, где были обнаружены недифференцированные или слабо дифференцированные в воздухе вулканические пеплы ближнего разноса, названные кристаллическими (crystal ash). Они содержат в среднем: 30-40% вулканического стекла, 25-35% плагиоклаза, 2% пироксена, 20-25% частиц (вместе с непрозрачными разностями) пород. По расчетам автора статьи, проведенных в учете материалов новейших исследований по стратиграфии донных морских осадков Командорской котловины и сопредельных регионов (Dullo et al., 2009; Ponomareva et al., 2013; Riethdorf et al., 2012; Takahashi et al., 2011), эти горизонты тефры отлагались в интервале от 440 до 390 тыс. л.н.

В скв. 191 (Initial..., 1973), находящейся в 170 км к ССВ от вершины массива, кристаллический пепел (40% вулканического стекла, 35% плагиоклаза, 10% частиц пород, 5% пироксена) мощностью 2 см выделен и описан на глубине ~ 179 м. Он больше всего похож на нижний кристаллический пепел из скв. 189 с возрастом ~ 440 тыс. лет и зажат между слоями турбидитов мощностью по 10-11 см – следами двух сильных землетрясений.

Вскоре (примерно 390-380 тыс. л.н.) начались сильнейшие деформации и разрушение постройки массива Вулканологов, которые предварялись и сопровождалась ее подъемом и растяжением в юго-восточном направлении, а также подъемом окружающих участков. Размер области поднятия был равен 45×55 км. Затем поднятие сменилось общим резким опусканием. Подобная последовательность событий четко отслеживается на примере грабена Командор. Хорошо видно, например, что бровка западного борта грабена приподнята над прилежащими участками на несколько сот метров, что определенно указывает на существование на месте грабена структуры типа сводового поднятия.

По предположению автора статьи, причина воздымания в обоих случаях – большеобъемная инъекция с глубины магмы, отвечающей по составу глиноземистому базальту. Быстрый же спуск этой магмы привел к резкому опусканию поднятых территорий, что привело к возникновению крупной (площадь только выраженной в рельефе части по бровкам ограничивающих уступов более 500 км²) отрицательной структуры – грабена Командор и послужило своеобразным триггером для сильнейших деформаций и

последующего катастрофического разрушения вершинной части массива Вулканологов. Фактически же размер грабена Командор был еще больше, так как его юго-западная часть погребена породами вулкана Пийпа (рис. 2).

Главным фактором деструкции всей постройки массива Вулканологов послужили прекрасно выраженные в рельефе разрывные нарушения типа сбросов со сместителями, круто падающими к ее центру. Вертикальная амплитуда сбросов от нескольких десятков метров до 100-200 м. Все они имеют общее северо-восточное простирание, их протяженность до 30-35 км. По принятой классификации эти разрывные нарушения можно отнести к гравитационным и нормальным сбросам, одна из причин возникновения которых – проседание участков земной коры при удалении из-под них опоры, в том числе, в связи со спуском находившейся под ними магмы. Однако на стадии поднятия возникали, вероятно, и разрывные нарушения типа активных сбросов (по классификации В.В. Белоусова).

Зафиксированные на карте (рис. 2) неодинаковые расстояния между разрывными нарушениями (большие на СЗ и меньшие на ЮВ) могут указывать, что на северо-западе растяжение было значительнее, чем на юго-востоке.

Широкое развитие разрывных нарушений помогло достаточно логично и просто объяснить феномен, связанный с обнаружением (Волынец и др., 1992) в одной из драг большого количества обломков алевролитов с диатомовой флорой верхнемиоцен – ранне плиоценового возраста и обломков молодых нормально магнетиальных андезитов в рубашке из таких же алевролитов. Дело в том, что водонасыщенные осадочные породы, состоящие из частиц размером менее 0.01 мм, к которым относятся и драгированные слабо литифицированные алевролиты, обладают тиксотропными свойствами – способностью превращаться в жидкий кисель при воздействии на них динамических нагрузок. Это и случилось, по-видимому, с алевролитами в зонах трещинных нарушений, откуда они были выдавлены наверх вместе с захваченными по пути обломками вулканических пород. Характерно также, что при прекращении динамического воздействия киселеобразная масса очень быстро снова превращается в твердую породу.

Разрушение постройки массива началось, по-видимому, с обвала ее вершины на северо-восток. Это обязательно должно было сопровождаться катастрофическим паро-газовым взрывом в результате контакта морской воды с обнажившимися раскаленными породами недр постройки, а затем – массовым выбросом ювенильной пирокластики. Следы подобных

событий зафиксированы в извлеченных кернах донных осадков скв. 189 глубоководного бурения (Initial..., 1973), имеющих примерный возраст 370-380 тыс. лет. Здесь, на глубине около 46 м, описана пыль катастрофического извержения: в илистых глинах до 30% частиц кварца и плагиоклаза. А непосредственно выше в этой колонке обнаружены сразу 3 обломка дрифтовой пемзы. И это на расстоянии 240 (!) км к ЮВ от массива Вулканологов.

Наличие 3-4 фрагментов разновозрастных и неодинаковых по размерам (от 21-22 до 11-12 км) обвальновзрывных цирков свидетельствует о многоэтапном обваливании постройки массива Вулканологов, разрушенной на юго-западе примерно до изобаты -2500 м. На северо-востоке система обвальных цирков непосредственно смыкалась с грабеном Командор. При каждом таком обваливании, предположительно, перемещалось до 100-150 км³ пород разрушенных блоков постройки массива Вулканологов, а суммарный объем уничтоженной части его постройки мог достигать, вероятно, 500 км³, то есть около 1/3 ее общего объема. Удивительно, что почти весь объем обвалившихся пород оказался аккумулярованным во вновь образованном грабене Командор с полостью еще большего объема. Об этом можно судить по его недокомпенсированности, на которую впервые обратили внимание еще Н.И. Селиверстов с соавторами (Селиверстов, 2009; Селиверстов и др., 1988).

Кроме цирков гигантских обвалов в рельефе на массиве Вулканологов выражены следы десятков более мелких форм (рис. 2). Самый заметный из них – предполагаемый автором крупный аллохтон у северо-западного подножия МВ. Он хорошо виден на рис. 1. На юго-западе располагается узкая часть аллохтона, поднимающаяся над морским дном на 100-300 м с глубины около 3900 м, а на северо-востоке, в широкой части минимальная глубина над вершиной аллохтона менее 3300 м, а относительная высота – до 500 м. Длина аллохтона со стороны массива Вулканологов почти 17 км. Он был частью северо-западного подножия массива и переместился оттуда по горизонтали к СЗ примерно на 8 км, опустившись на 400-500 м. Крупные обвалы и оползни произошли на сопредельном Командорском блоке Алеутской островной гряды.

Следовательно, вполне логично допустить, что в целом, разрушение массива Вулканологов было грандиозной многокомпонентной природной катастрофой, как минимум, регионального масштаба, каждый эпизод которой был сравним с такими знаменитыми катастрофами как санторинская (~ 3500 л.н.) или Кракатау (1883 г.).

Спуск из-под района массива Вулканологов аккумулятивной и продолжавшаяся инъекция

с глубины той же магмы, отвечающей по составу глиноземистым базальтам, привели к формированию гигантского магматического суперпотока (МСП). Его исток находился у юго-восточного подножия этого массива (рис 2).

МСП (в понимании автора статьи) – большое (≥ 1000 км³) субгоризонтальное перемещение магмы от ее истока на расстояния в сотни и более километров по границам раздела в земной коре: в осадочных толщах, под осадочными толщами и др. Применительно к выявленному МСП природной моделью, в первом приближении, может служить внедрение и перемещение дацитовой магмы во внутрикальдерных осадках кальдеры Айра (Aira) на японском о. Кюсю во время извержения вулкана Сакурадзима в 1779-80 гг.

Действующий вулкан Сакурадзима (Kobayashi, 1988) расположен на кольцевом разломе в юго-западном секторе этой огромной (24×21 км, ~400 км²) кальдеры типа Кракатау, возникшей ~22000 л.н. Сейчас к кальдере приурочен морской залив Кагосима с глубиной воды более 200 м и мощностью внутрикальдерных осадков не менее 1-2 км. Вулкан Сакурадзима начал формироваться ~13000 л.н. и с тех пор продолжает интенсивно извергаться. Исторические извержения вулкана известны с 708 г. (Fukuyama, Ono, 1981).

Во время извержения 1779-1780 гг. наземные эруптивные центры извержения располагались (Fukuyama, Ono, 1981; Kobayashi, 1988) в высотном интервале 950-450 м, а подводный (одновременно и подземный) центр находился, вероятно, на 150-200 м ниже уровня моря, на дне старого кратера диаметром 1.4-1.5 км (рис. 3). Последствия извержения представлены на японских геологических картах масштаба 1:25000 и 1: 50000 (Fukuyama, Ono, 1981; Kobayashi, 1988). Главными формами извержения были наземный лавовый поток, фронтальная часть которого оказалась погруженной под воду, и подземный (одновременно и подводный) магматический поток, внедрившийся в толщу внутрикальдерных отложений.

В настоящее время большая часть плоского дна кальдеры Айра находится под водой на глубине более 200 м, а над кровлей внедрившегося магматического потока (на геологических картах «intrusive part of An et Lava, of 1779-1780» – оливипироксеновый дацит) оно поднято выше изобаты – 100 м, а местами (в виде островов) – над уровнем моря. Слагающие острова толщи представлены, как правило, двумя фациями: стекловатыми пеплами и пемзами – снизу, песками с фауной моллюсков – сверху. На двух островах обнаружены выходы пород кровли потока. На самом крупном острове (800×350 м) вышедшие из-под

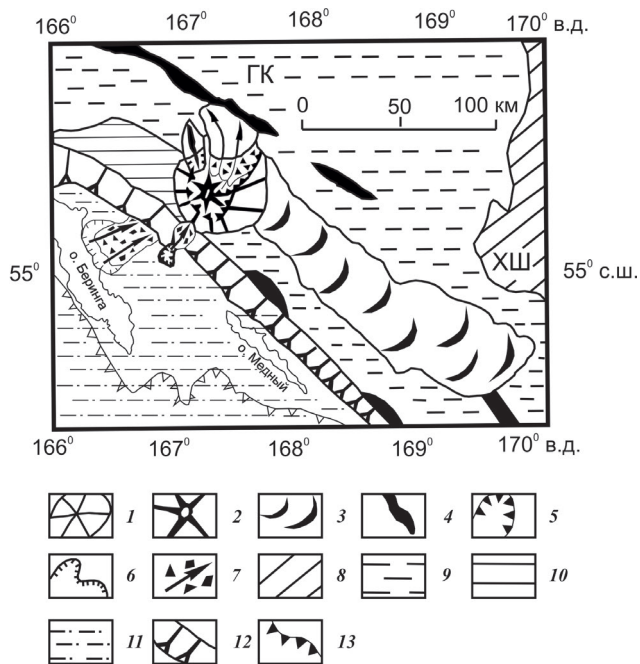


Рис. 3. Соотношение массива Вулканологов и магматического суперпотока Пийпа: 1 – массив Вулканологов; 2 – подводный активный вулкан Пийпа; 3 – МСП Пийпа; 4 – бортовые валы других МСП; 5 – бровка гигантских обвальнo-взрывных цирков; 6 – бровки обвальнo-оползневых цирков; 7 – обвальнo-оползневые образования (включая аллохтоны), стрелки показывают направление их перемещения; 8 – подводные хребты; 9 – дно Командорской котловины (КК); 10 – глубоководные котловины на дне КК; 11 – прочие морские акватории; 12 – ЮЗ борт КК; 13 – бровка островного шельфа Командорского блока Алеутской гряды. ХШ – подводный хребт Ширшова; ГК – грабен Командор.

воды толщи отложений разбиты шестью разрывными нарушениями типа сбросов, имеющими субширотное простирание.

Под погребёнными поток толщами не видны микро- и мезоформы рельефа его кровли, но отчетливо прослеживаются границы главных лопастей потока. Безошибочно можно определить и направления движения магмы в этих лопастях (рис. 3). На поднятой при внедрении горячей магмы поверхности дна кальдеры фреатическими взрывами были образованы 15 округлых воронок диаметром от 5–10 до 300–500 м.

Внедрившийся магматический поток прошел в толще внутрикальдерных отложений почти 7 км, его площадь была 15–16 км², а объем (при средней мощности пород порядка 100 м) оценен автором статьи в 1.5 км³. Состав магмы – оливин-пироксеновый дацит. Длина наземного лавового потока (включая его фронтальную, опущенную под воду часть) – 5 км, площадь – 6.5 км², объем – около 0.5 км³. Это примерно в три раза меньше, чем у внедрившегося магматического тела. Состав лавы – пироксеновый дацит.

В отличие от рассмотренного случая, начало формирования магматического суперпотока было самостоятельным актом, а не побочным прорывом вулкана – массива Вулканологов.

Исток МСП фактически первыми описали Н.И. Селиверстов с соавторами (Селиверстов и др., 1986, 1988), но для других целей, назвав его поднятым «акустическим фундаментом». Юго-восточное продолжение – они же, под названием Южно-Командорского поднятия. Детальная характеристика последнего (в понимании автора статьи, приосевой зоны МСП), рельефа его кровли, распределение мощностей перекрывающих осадков, особенностей выявленных разрывных нарушений в результате анализа батиметрической карты и двух ортогональных сейсмоакустических разрезов приведены в работе (Селиверстов и др., 1988) и повторены в работе (Селиверстов, 2009).

Следует отметить, что чередование описанных поднятий и опусканий, разделенных разрывными нарушениями, резко выраженное неравномерное распределение мощностей осадков на кровле МСП – явное свидетельство дискретности характера его движения и, вероятнее всего, обусловлено, в первую очередь, пульсационным поступлением магмы с глубины. На земной поверхности подобные взаимоотношения были отмечены, например, в ходе знаменитого (12 км³ лавы + 1 км³ пирокластики) трещинного извержения Лаки (Исландия) в 1783–84 гг.

Н.И. Селиверстов с соавторами первыми вплотную приблизились и к идее о возможной магматической природе Южно-Командорского поднятия при характеристике задугового поднятия и особенностей строения осадочного чехла южной части Командорской котловины, написав, что «... есть основания предполагать, что осадочный чехол задугового поднятия южной части Командорской котловины находится под воздействием магматических и геотермальных процессов...» (Селиверстов и др., 1988, с. 18). Однако в дальнейшем Н.И. Селиверстов магматическую гипотезу развивать не стал, отдав приоритет более традиционному, тектоническому, варианту происхождения Южно-Командорского поднятия (Селиверстов, 2009).

По оценке автора статьи, длина МСП – 180–190 км (рис. 4), средняя ширина (с учетом не выраженных в рельефе флангов, погребенных под осадками) ~ 20 км, площадь – 3500–4000 км², объем (при принятой средней мощности пород 0.5 км) – ~ 2000 км³, вес – порядка 5000×10⁹ т. Точное время формирования неизвестно, но это случилось еще до возникновения вулкана Пийпа.

Предлагается для завершения вулканической триады, включающей пока только два названия

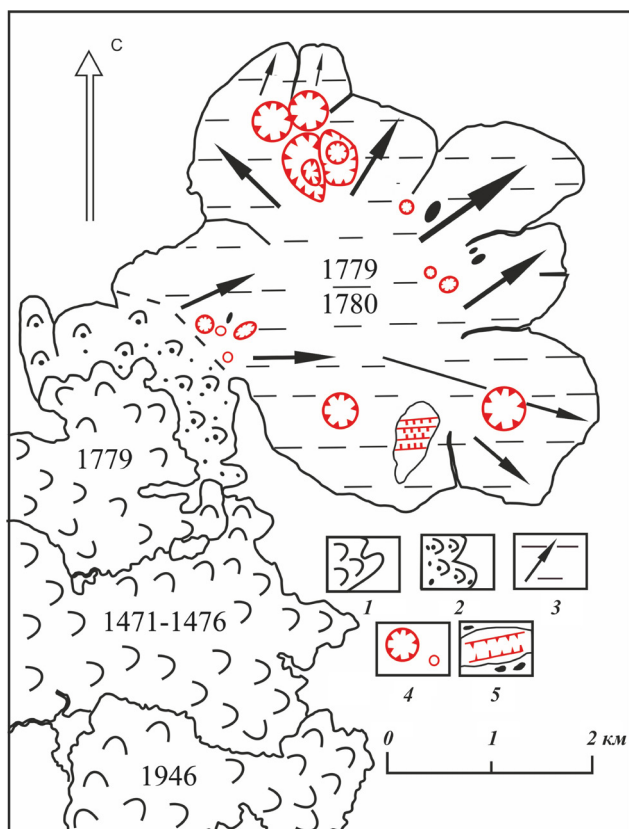


Рис. 4. Внедрение дацитовый магмы в осадки кальдеры Айра (Япония) в ходе извержения вулкана Сакурадзима в 1779-80 гг. (по данным (Kobayashi, 1988)): 1 – лавы наземных извержений вулкана Сакурадзима (цифры – годы извержений); 2 – подводное окончание лавового потока 1779-80 гг., оливин-пироксеновый дацит; 3 – интрузивное тело извержения в Сакурадзима в 1779-80 гг., оливин-пироксеновый дацит, стрелки показывают направление движения магматического вещества; 4 – фреатические кратеры на кровле интрузивного тела; 5 – крупнейший остров (Синдзима), разбитый сбросами; зачернены более мелкие острова.

(массив Вулканологов и вулкан Пийпа), присвоить этому магматическому суперпотoku, как и вулкану, имя Бориса Ивановича Пийпа.

Подводный вулкан Пийпа начал расти в обвальном-взрывном цирке массива Вулканологов, предположительно, в конце среднего плейстоцена и уже около 190-200 тыс. л.н. стал крупным сооружением, вершина которого оказалась на небольших глубинах. Показателем этого служат многочисленные горизонты вулканических пеплов оливково-серого и розовато-серого цвета, обнаруженные в ядрах скв. 190 (~ 280 км почти к В от вулкана Пийпа), и залегающие ниже тефры Раучуа (Rauchua) с возрастом ~ 171 тыс. л.н. (Ponomareva et al., 2013). На принадлежность этих пеплов к вулкану Пийпа может указывать площадное распространение зеленовато-серых и розовато-серых пемз на склонах Центральной и Южной вершин вулкана Пийпа (Селиверстов,

2009). На современном этапе он трехвершинный (рис. 5) с минимальными глубинами над вершинами – 355 м (Северная, активная), – 590 м (Центральная), – 460 м (Южная). Не исключено, что какое-то время назад (возможно, 20-25 тыс. л.н., в эпоху максимума верхнеплейстоценового оледенения при понижении уровня Мирового океана на 110-120 м) одна из вершин вулкана Пийпа могла подниматься в пределы зоны волновой абразии. Об этом, в частности, свидетельствуют гальки, поднятые с глубины 1840-460 м на западном склоне (станция В35-3) вулкана Пийпа (Селиверстов, 2009).

Слагающие вулкан породы имеют состав от высоко и умеренно магнезиальных андезитов до дацитов, а фундамент находится на глубине примерно 3500 м.

Объем постройки вулкана Пийпа, по оценке автора статьи, достигает в настоящее время 200 км³, а вес пород – 450×10⁹ т. Его рельеф, слагающие породы, недавняя и современная активность подробно описаны в (Волынец и др., 1992; Селиверстов, 2009; Селиверстов и др., 1988; Селиверстов и др., 1989).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно заключить, что согласно авторской версии, массив Вулканологов, а также объединенные с ним генетически и парагенетически, разные по происхождению формы – сложное комплексное образование, возникшее в среднем плейстоцене – голоцене.

Оно включает (от старых форм к более молодым):

Крупный подводный вулкан (первичный размер основания 40×45 км, высота постройки ≥ 3700-3800 м, объем изверженных пород 1300-1400 км³) – массив Вулканологов, начавший и закончивший формирование в среднем плейстоцене. Его фундамент обнаружен и описан на глубине 3700 м, а вершина в заключительную стадию развития (440-390 тыс.л.н.) находилась или неглубоко под водой, или поднималась в виде острова выше уровня моря. Породы вулкана – высоко и умеренно магнезиальные андезиты и андезибазальты (таблица).

Систему из большого количества магмотектонических разрывных нарушений типа активных сбросов и систему из 3-4 последовательно возникавших и наложенных друг на друга обвальном-взрывных цирков. Первые вначале деформировали всю постройку массива Вулканологов, а вторые за счет обвальном-взрывных процессов разрушили практически всю его вершинную часть объемом около 500 км³ (примерно 1/3 общего объема постройки). Возникновение обеих взаимосвязанных систем

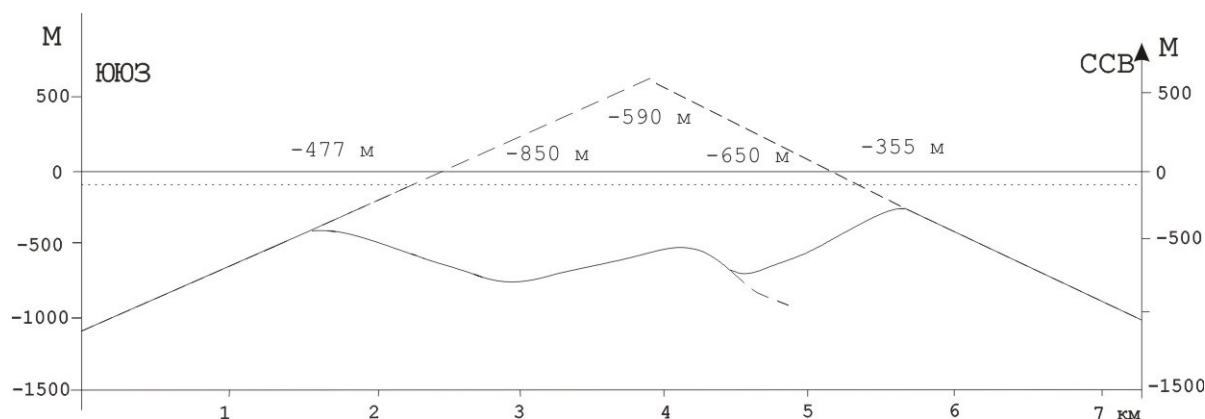


Рис. 5. Профиль (сплошная толстая линия) вершинной части активного подводного вулкана Пийпа с отметками глубин. Батиметрия по (Селиверстов, 2009). Толстый пунктир – предполагаемый вариант профиля вершины вулкана. Точечный пунктир – уровень (-110-120 м) Мирового океана 20-25 тыс.л.н.

и разрушение постройки массива Вулканологов произошло, по-видимому, в очень короткий промежуток времени 390-380 тыс.л.н.

Гигантский (длина 180-190 км, средняя ширина ~ 20 км, площадь 3500 – 4000 км², объем пород ~ 2000 км³) магматический суперпоток Пийпа с истоком в юго-восточном секторе подножия массива Вулканологов. Породы – глиноземистые базальты. Возраст (предположительный) – вторая половина среднего плейстоцена.

Грабен Командор (площадь выраженной в рельефе части по бровке уступа ~ 500 км²) с первичным объемом полости > 500 км³. По происхождению грабен может быть аналогом крупной кальдеры гавайского типа, так как питал МСП Пийпа. Время его образования – вторая половина среднего плейстоцена.

Активный подводный вулкан Пийпа, возникший в конце среднего плейстоцена в обвальновзрывном цирке массива Вулканологов, но остающийся активным и в современную эпоху. Его породы – андезидациты и дациты. Увенчан тремя вершинами, образующими цепочку субмеридионального простирания. Северная вершина активная: предполагается, что наиболее молодые извержения происходили несколько сот лет назад. В настоящее время там проявляется лишь гидротермальная активность.

Проверка правильности рассмотренного авторского варианта может быть реализована во время новых рейсов научно-исследовательских судов в район массива Вулканологов.

Автор благодарит д.г.н. В.В. Пономареву за подбор новейших публикаций по массиву Вулканологов и сопредельных территорий.

Список литературы

Авдейко Г.П., Антонов А.Ю. Вольнец О.Н. и др. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.; Наука, 1992. 528 с.

Богданова О.Ю., Горшков А.И., Баранов Б.В. и др. Гидротермальные образования подводного вулкана Пийпа (Командорская котловина) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 3. С. 49-62.

Вольнец О.Н., Колосков А.В., Ягодзинский Дж. и др. Бонинитовая тенденция в лавах подводного вулкана Пийпа и его обрамления (западная часть Алеутской дуги). 1. Геология, петрохимия, минералогия // Вулканология и сейсмология. 1992. № 1. С. 3-23.

Информационная система «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» – Volcanoes of Kurile-Kamchatka Island Arc» (VOKKIA). 2010 – <http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/>

Муравьев А.В., Селиверстов Н.И., Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. Тепловой поток в районе подводного четвертичного вулканизма Командорской котловины // ДАН. 1990. Т. 312. № 2. С. 438-443.

Романова И.М., Гирина О.А., Максимов А.П., Мелекесцев И.В. Создание комплексной информационной веб-системы «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги» (VOKKIA) // Информатика и системы управления. 2012а. Вып. 33. № 3. С. 179-187.

Романова И.М., Гирина О.А., Мелекесцев И.В., Максимов А.П. Информационная веб-система «Вулканы Курило-Камчатской островной дуги»: текущее состояние и перспективы развития // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012б. Вып. №19. С. 128-137.

Сагалевиц А.М., Торхов П.В., Галкин С.В. и др. Гидротермальные проявления подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 9. С. 104-114.

Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зон сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир. 1998. 164 с.

Селиверстов Н.И. Геодинамика зоны сочле-

- нения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский. Изд. КамГУ им. Витуса Беринга. 2009. 191 с.
- Селиверстов Н.И., Авдейко Г.П., Иваненко А.Н. и др.* Новый подводный вулкан в Западной части Алеутской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 1986. № 4. С. 3-16.
- Селиверстов Н.И., Баранов Б.В., Егоров О.Ю., Шкира В.А.* Новые данные о строении южной части Командорской котловины по результатам 26 рейса НИС «Вулканолог» // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 3-20.
- Селиверстов Н.И., Гавриленко Г.П., Кирьянов В.Ю.* О признаках современной активности вулкана Пийпа // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 3-18.
- Торохов П.В.* Сульфидная минерализация гидротермальных образований подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // ДАН. 1992а. Т. 326. № 6. С. 1060-1063.
- Торохов П.В.* Гидротермальные карбонаты подводного вулкана Пийпа // Вулканизм, структуры, образование. Тез. докл. 7 Вулканол. совещания. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН. 1992б. С. 104-105.
- Торохов П.В., Таран Ю.А., Сагалевиц А.М. и др.* Изотопный состав метана, углекислого газа и карбонатов термальных выходов подводного вулкана Пийпа (Берингово море) // ДАН. 1991. Т. 318. № 3. С. 728-732.
- Эрлих Э.Н., Мелекесцев И.В.* Командорские острова // Камчатка, Курильские и Командорские острова / Отв. ред. И.В. Лучицкий. М.: Наука, 1974. С. 327-337.
- Dullo C., Baranov B., Bogaard.* Cvd RV Sonne Fahrtbericht / Cruise Report SO201-2: KALMAR (Kurile-Kamchatka and Aleutian Marginal Sea-Island Systems): Geodynamic and climate Interaction in Space and Time 2009. IFM-GEOMAR Report 35. – <http://www.ifm-geomar.de/index.php=ublikationen>
- Fukuyama H., Ono K.* Geological map of Sakurajima volcano 1:25000. Geological Survey of Japan. 1981.
- Initial Report of the Deep Drilling Project. V. XIX. 1973. 913 p.
- Kobayashi T.* Geological map of Sakurajima volcano 1:50000. A Guide book for Sakurajima volcano // Kagoshima International Conference on volcanoes. 1988. 50 p.
- Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev A. et al.* Identification of a widespread Kamchatkan tephra: a middle Pleistocene tie-point between Arctic and Pacific paleoclimatic records. // Geophys Res Lett, 2009. V. 40. Iss. 14. P. 3538-3543.
- Portnyagin M., Hauff F., Hoernke K. et al.* Geochemistry of primitive glasses from the Volcanologists Massif (Far Western Aleutian Arg) Obtained during SO201-KALMAR // Statusseminar «Meeresforschung mit FS SONNE» 2011, 9-10 Februar 2011, Hannover. P. 71-74.
- Riethdorf J.R., Nuernberg D., Max L. et al.* Millennial-scale variability of marine productivity and terrigenous matter supply in the western Bering Sea over the past 180 kyr // Clim. Past Discuss., 2012. № 8. P. 6135-6198.
- Takahashi K., Revelo A.C., Alvares Zarikian C.A.* Expedition 323 Scientists. PROC. IODP. V. 323. Doi: 10.2204/iodp.proc.323.106.2011.
- Taran Y.A., Torokhov P.V., Pokrovsky B.G., Shabaeva I.V.* Isotopic composition of mineral precipitates and free gas associated with hydrothermal vents of Piip volcano, Bering Sea // Geochemical J. 1992. V. 26. P. 291-297.
- Wood Ch.A., Kienle J.* Volcanoes of North America (United States and Canada). Cambridge University Press, 1991. 354 p.
- Yogodzinsky G.M., Volynets O.N., Koloskov A.V. et al.* Magnesian Andesites and the Subduction Component in a Strongly Calc-Alkaline Series at Piip Volcano Far Western Aleutians // Journal of Petrology. 1994. V. 35. Part. q. P. 163-204.

**THE PECULIARITIES OF GEOMORPHOLOGY AND FORMATION HISTORY
OF THE VOLCANOLOGISTS MASSIF IN THE BERING SEA (THE NEW VERSION)**

I.V. Melekestsev

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatski, 83006

The paper proposes a new version of geological-geomorphological structure and formation history of the Volcanologists Massif, located in the Komandor basin of the Bering Sea. It is based on a bathymetric map, plotted in 2009 using the results from multi-beam echo-sounding from the research vessel «Zonne», as well as a partially revised material from the earlier geological-geophysical studies in this region. The paper shows that before formation of Piip Volcano, the Volcanologists Massif had been drastically transformed and destroyed by catastrophic magma-tectonic and landslide-explosive processes. The author revealed the parameters of the Volcanologists Massif, active Piip Volcano and newly discovered magmatic super flow, and estimated their age.

Keywords: Volcanologists Massif, Piip Volcano, magmatic superflow, catastrophic processes.